



Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

Разработка технологии комплексной переработки топинамбура

[Арсеян К. Вологиров¹], Амина С. Джабоева^{1*},
Анна Т. Васюкова², Зурет Н. Хатко³, Асет И. Блягоз³

¹ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова»;
пр. Ленина, 1в, Нальчик, 360030, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»;
Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»;
ул. Первомайская, д. 191, Майкоп, 385000, Российская Федерация

Аннотация. По оценкам мировых аналитических агентств наиболее перспективной областью развития пищевой индустрии является обогащение продуктов питания физиологически функциональными ингредиентами – пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами и др. Анализ состояния рынка функциональных ингредиентов свидетельствует о перспективности организации производства отечественного инулина и других биологически активных компонентов из различных анатомических частей травянистого клубненосного растения рода Подсолнечник – топинамбура, отличительными особенностями которого являются высокая урожайность клубней, неприхотливость к условиям возделывания, стойкость к болезням и вредителям. Целью исследования являлась разработка технологии производства инулина и хлорофилла из клубней и листьев топинамбура. В работе использовались общепринятые физико-химические методы исследования растительных объектов. Результаты исследования позволили установить оптимальные технологические параметры процесса экстрагирования инулина из клубней топинамбура 60%-м водно-спиртовым раствором. Предложена технология получения инулина из клубней топинамбура, основанная на фракционировании смеси компонентов с различной молекулярной массой, путем прохождения их через полиамидные композиционные мембраны обратноосмотического рулонного типа. Установлено, что молекулярная масса инулина, выделенного из клубней топинамбура сорта «Интерес», составляет 5,84 кДа. Выявлено, что листья топинамбура содержат хлорофилл *a* и *b* в количестве 6,98 и 0,74 мг/г сырого вещества. Медные производные хлорофиллов, выделенные из листьев топинамбура, перспективны не только как пищевые красители, но и как биологически активные вещества с широким спектром действия. Полученные по предложенной технологии целевые продукты – инулин и медные производные хлорофиллов могут найти широкое практическое применение в пищевой промышленности и в общественном питании.

Ключевые слова: топинамбур, пищевая ценность, экстракт, технологические параметры, инулин, ультрафильтрация, технология, хлорофилл, феофитин

Для цитирования: Вологиров А.К., Джабоева А.С., Васюкова А.Т. и др. Разработка технологии комплексной переработки топинамбура. Новые технологии / New technologies. 2023; 19(4): 56-62. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-56-62>

Development of technology for complex processing of Jerusalem artichoke

Arseyan K. Vologirov¹, Amina S. Dzhaboeva^{1*}, Anna T. Vasyukova², Zuret N. Khatko³

¹ FSBEI HE «Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokov»;
Iv Lenina ave., Nalchik, 360030, the Russian Federation

² FSBEI HE «Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH)»;
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, the Russian Federation

³ FSBEI HE «Maikop State Technological University»;
191 Pervomayskaya str., Maikop, 385000, the Russian Federation

Abstract. According to global analytical agencies the most promising area of development of the food industry is the enrichment of food products with physiologically functional ingredients – dietary fiber, vitamins, minerals, etc. Analysis of the market for functional ingredients indicates the prospects of organizing the production of domestic inulin and other biologically active components from various anatomical parts herbaceous tuberous plant of the Sunflower genus – Jerusalem artichoke, the distinctive features of which are high yield of tubers, unpretentiousness to cultivation conditions, resistance to diseases and pests. The purpose of the research was to develop a technology for the production of inulin and chlorophyll from Jerusalem artichoke tubers and leaves. The work used generally accepted physical and chemical methods for studying plant objects. The results of the research made it possible to establish optimal technological parameters for the process of extracting inulin from Jerusalem artichoke tubers with a 60% aqueous-alcohol solution. The technology has been proposed for the production of inulin from Jerusalem artichoke tubers, based on the fractionation of a mixture of components with different molecular weights, by passing them through polyamide composite membranes of reverse osmosis roll type. It has been established that the molecular weight of inulin isolated from Jerusalem artichoke tubers of the «Interes» variety is 5.84 kDa. It has been revealed that Jerusalem artichoke leaves contain *a* and *b* chlorophyll in amounts of 6.98 and 0.74 mg/g of wet matter. Copper chlorophyll derivatives isolated from Jerusalem artichoke leaves are promising not only as food colorings, but also as biologically active substances with a wide spectrum of action. The target products obtained using the proposed technology – inulin and copper derivatives of chlorophylls – can find wide practical application in the food industry and in public catering.

Keywords: Jerusalem artichoke, nutritional value, extract, technological parameters, inulin, ultrafiltration, technology, chlorophyll, pheophytin

For citation: Vologirov A.K., Dzhaboeva A.S., Vasyukova A.T. et al. Development of technology for complex processing of Jerusalem artichoke. *Novye tehnologii / New technologies*. 2023; 19(4): 56-62. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-56-62>

Введение. В настоящее время всё больший интерес представляет создание продуктов здорового питания с использованием нетрадиционного растительного сырья [1]. В этой связи перспективным источником физиологически функциональных ингредиентов является топинамбур, пищевая ценность которого обусловлена наличием высокого содержания инулина, пищевых волокон, белка, витаминов и минеральных веществ [2, 3, 4].

Следует отметить, что в отличие от большинства огородных культур, топинамбур не накапливает тяжелые металлы, нитраты, высоко устойчив ко многим вредителям, что дает возможность исключить применение химических средств защиты при его выращивании. Кроме того, у топинамбура отсутствует токсичное и аллергизирующее действие [5, 6].

В состав топинамбура входит природный полисахарид инулин, отличающийся от крахмала и целлюлозы тем, что он представлен главным образом простым сахаром фруктозой (95%). Это обуславливает его широкое использование в пищевой промышленности при разработке продуктов питания для больных с заболеванием сахарным диабетом и

нарушением углеводного и липидного обмена организма [7, 8, 9].

Инулин обладает свойством повышать устойчивость живых организмов к радиации, выбросам химической и металлургической промышленности, является метаболиком, способным оказывать влияние на энергетический потенциал организма [10, 11, 12].

В настоящее время отечественные производители используют импортный инулин и фруктозо-глюкозные сиропы. Между тем, сложившаяся политическая ситуация вызывает необходимость разработки новых технологий комплексной переработки топинамбура с выделением физиологически активных компонентов.

Цель исследования – разработка технологии производства инулина и хлорофилла из клубней и листьев топинамбура.

Объекты и методы исследования

Материалы. Для исследований использовались клубни и листья топинамбура сорта «Интерес».

Объекты. Анализировали химический состав экстрактов, полученных из клубней топинамбура и хлорофиллов, выделенных из его листьев.

Методы. В работе использовались общепринятые физико-химические методы исследования растительных объектов.

Результаты исследований. Пищевая ценность топинамбура определяется его химическим составом.

Химический состав клубней и листьев топинамбура сорта «Интерес» представлен в табл. 1. Содержание жиров, протеинов, клетчатки и золы приведены в процентах к абсолютно сухому веществу.

Из представленных сведений видно, что массовая доля инулина и протеинов в клубнях топинамбура выше по сравнению с их содержанием в листьях в 6,8 и 1,1 раз соответственно. Массовая доля жиров, клетчатки и золы в листьях топинамбура больше чем клубнях в 2,1, 4,5 и 2,7 раза соответственно.

В работе использовали свойство инулина растворяться в водно-спиртовых растворах. В качестве экстрагента использовали 60%-й водно-спиртовой раствор. Для определения

Таблица 1

Химический состав экстрактов из клубней и листьев топинамбура сорта «Интерес»

Показатель	Значение показателя	
	клубни	листья
Массовая доля, г/100 г: сухих веществ	7,1±0,2	4,8±0,1
редуцирующих сахаров	0,29±0,01	0,22±0,01
инулина	8,9±0,2	1,3±0,03
протеинов	11,2±0,4	9,8±0,3
жиров	0,9±0,02	1,9±0,06
клетчатки	4,0±0,1	17,8±0,2
золы	5,1±0,1	13,6±0,2

Table 1

Chemical composition of extracts from tubers and leaves of Jerusalem artichoke variety «Interes»

оптимального значения гидромодуля устанавливали зависимости выхода инулина, приходящегося на единицу приращения гидромодуля, и приращения объема экстрагента, отнесенного к единице приращения выхода инулина от гидромодуля. Экспериментально установлено, что оптимальное соотношение масс сырья и экстрагента составляет 1:2,3.

Результаты исследования, полученные при определении влияния температуры экстрагента и времени экстрагирования на содержание

инулина (рис. 1), показали, что при температуре 75°C и продолжительности процесса экстрагирования 40 минут достигается наибольшая концентрация инулина в растворе – 8,0%. Увеличение продолжительности гидролиза-экстрагирования свыше 40 минут приводило к снижению массовой доли инулина.

Молекулярную массу инулина определяли вискозиметрическим методом. Для этого вначале рассчитывали относительную, удельную и приведенную вязкость, значение характеристической

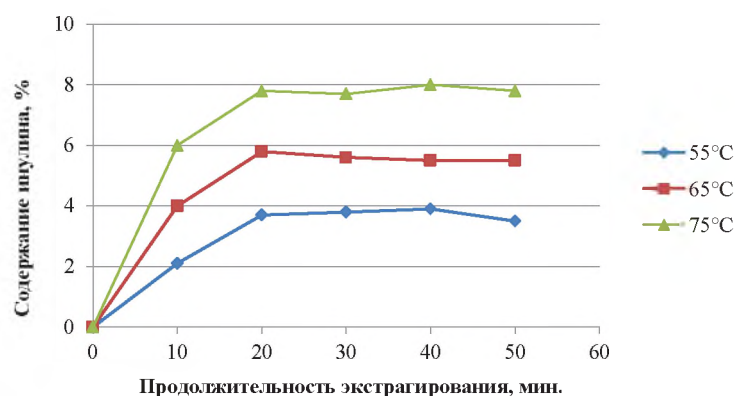


Рис. 1. Влияние температуры и времени экстрагирования на содержание инулина

Fig. 1. Effect of temperature and extraction time on inulin content

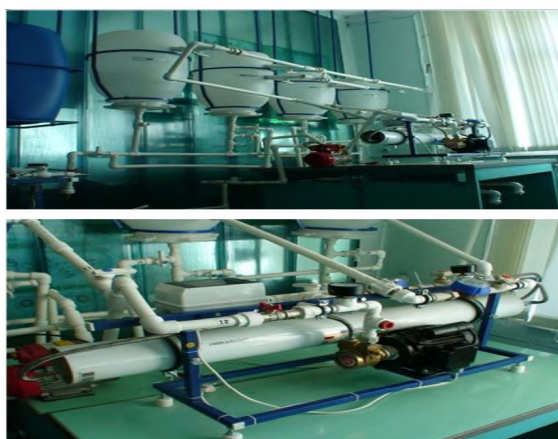


Рис. 2. Ультрафилтрационная установка

Fig. 2. Ultrafiltration unit

вязкости и средневязкостную молекулярную массу. В результате расчета установлено, что молекулярная масса инулина из клубней топинамбура сорта «Интерес» составляет 5,84 кДа.

Полученные данные легли в основу разработки технологии выделения инулина из клубней топинамбура. Поступившие клубни топинамбура инспектируют на ленточном транспортере, после чего загружают в машину моечную барабанного типа, промывают водой температурой 16–18 °С, взвешивают и направляют дисковую ротационную дробилку для измельчения до дисперсности частиц 5–10 мм. Измельченное сырье загружают в экстрактор, заливают 60%-м водно-спиртовым раствором при гидромодуле 1:2,3 и осуществляют процесс гидролиза-экстрагирования инулина при температуре 75°С в течение 40 минут. После этого смесь с помощью насоса подают на фильтр-пресс и отделяют водно-спиртовую вытяжку.

Извлечение инулина основано на фракционировании смеси компонентов с различной молекулярной массой за счет молекулярно-массовой сепарации инулинсодержащего экстракта на ультрафилтрационной установке (рис. 2) методом нанофилтрации с использованием полиамидных нанофильтров рулонного типа с различной величиной пор, обеспечивающих разделение многокомпонентной смеси по размерам молекул.

Инулинсодержащий экстракт сначала фильтруют, затем насосом подают на первую ступень сепарации, где с помощью нанофильтров отделяют фракцию соединений с молекулярной массой более низкой, чем молекулярная масса инулина, затем инулиновую и более высокомолекулярные фракции отводят и подают на вторую ступень сепарации в ультрафилтрационную установку с рулонными нанофильтрами, имеющими размеры пор, обеспечивающими порог удержания частиц,

соответствующих молекулярной массе инулина (5–6 кДа). Более высокомолекулярную фракцию отводят из системы, а инулиновую с помощью насоса подают на установку с обратным осмосом с рециркуляцией удаленной воды на этап молекулярно-массовой сепарации.

Полученный инулинсодержащий концентрат направляют в распылительную сушильную установку и высушивают до остаточной влажности 10–14%, после чего измельчают, удаляют ферропримеси, просеивают, фасуют, упаковывают в мешки бумажные и отправляют на хранение.

Комплексная переработка топинамбура предусматривала выделение хлорофилла из его листьев. Содержание хлорофиллов в листьях топинамбура определяли фотоэлектроколориметрическим методом на приборе ФЭК-56М.

Выявлено, что листья топинамбура содержат хлорофилл *a* и *b* в количестве 6,98 и 0,74 мг/г сырого вещества.

Перспективными биологически активными пищевыми добавками являются медные комплексы хлорофилла, которые представляют собой продукты переработки зеленых частей растений. Технологический процесс заключается в экстрагировании сырья пищевыми растворителями при температуре 50–60 °С в течение 60 минут. В результате выделяется комплекс физиологически функциональных ингредиентов, в состав которого входят хлорофиллы, каротиноиды, полиненасыщенные жирные кислоты и витамины. Данный комплекс обрабатывается раствором хлорной меди при температуре 60–70 °С с получением медных производных хлорофилла.

Применяемые методы анализа токсических форм меди не позволяют разделять токсическую ионную форму меди и ее безвредные растворимые комплексы, что затрудняет оценку степени ее токсичности [13].

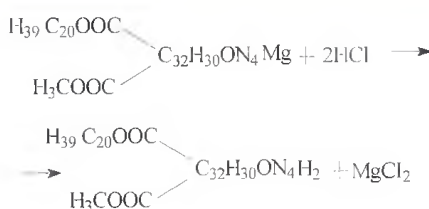


Рис. 3. Химическая формула феофитина а и b

Fig. 3. Chemical formula of pheophytin a and b

В связи с этим нами проведены исследования по оптимизации метода получения медных производных хлорофиллов с минимальным содержанием токсичных ионов Cu^{2+} .

Для выполнения данной задачи, спиртовую вытяжку листьев топинамбура обрабатывали расчетным количеством 10%-го раствора соляной кислоты, при этом сравнительно слабо удерживающиеся атомы магния в порфириновом ядре замещаются двумя атомами водорода, что приводит к образованию феофитинов бурого цвета (рис. 3).

При взаимодействии феофитинов с солями меди образуется медный комплекс хлорофиллов ярко зеленого цвета.

С целью извлечения медных производных хлорофиллов с максимальным выходом и минимальным содержанием свободных ионов хлора проводили серию опытов с различным количеством медьсодержащего компонента.

Определение количества соляной кислоты и хлорной меди осуществляли отдельно для феофитина а и феофитина b. Колориметрическое определение ионов меди осуществляли аммиачным методом, который основан на образовании ионами меди при взаимодействии с

аммиаком комплекса $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, окрашенного в интенсивно-синий цвет.

Результаты исследования влияния количества хлорной меди на выход медных производных хлорофиллов и остаточного содержания токсичных ионов меди приведены в табл. 2.

Анализ результатов исследования показал, что образец 1, полученный путем добавления к спиртовому экстракту эквивалентного количества хлорной меди характеризуется относительно меньшим выходом и массой по сравнению с другими образцами. В связи с этим при синтезе последующих проб массу хлорной меди равномерно увеличивали на 5%, 10% и т.д. Оптимальными свойствами обладала медная производная хлорофилла, полученная с добавлением 15%-й хлорной меди (образец № 4).

Медные производные хлорофиллов, выделенные из листьев топинамбура, перспективны не только как пищевые красители, но и как биологически активные вещества с широким спектром действия.

Полученные результаты исследований являются экспериментальным обоснованием для дальнейшего использования новых технологий в производстве продуктов здорового питания.

Таблица 2

Влияние количества хлорной меди на выход медных производных хлорофиллов и остаточного содержания токсичных элементов меди

Table 2

Effect of the amount of copper chloride on the yield of copper derivatives of chlorophylls and the residual content of toxic copper elements

№ п/п	Масса хлорида меди (II), мг	Выход медных производных хлорофиллов, мг/100 г сырого вещества	Остаточное содержание ионов меди, мг
1	119,0	781,4	–
2	125,0	796,9	–
3	130,9	792,7	–
4	136,9	806,0	4,0
5	142,8	809,9	12,0
6	148,8	817,1	16,0
7	154,7	813,6	17,0
8	160,7	812,8	25,0

Выводы. Выполнено комплексное исследование, направленное на развитие научных основ отечественной технологии производства инулина из клубней топинамбура, основанной на фракционировании смеси компонентов с различной молекулярной массой и извлечения хлорофиллов из листьев топинамбура с максимальным

выходом медных производных хлорофиллов и минимальным содержанием токсичных ионов меди. Полученные по предложенной технологии целевые продукты – инулин и медные производные хлорофиллов могут найти широкое практическое применение в пищевой промышленности и в общественном питании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Созаева Д.Р., Золоева Д.З. Разработка технологии инновационных продуктов для больных сахарным диабетом. Актуальные проблемы технологии продуктов питания, туризма и торговли: материалы I Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик; 2021: 76-80.
2. Беляева И.А. Топинамбур – сырье многоцелевого использования. Университетская наука – региону: материалы V ежегодной научно-практической конференции. Ставрополь; 2017: 29-31.
3. Жучкова М.А., Скрипников С.Г. Топинамбур – растение XXI века. Овощи России. 2017; 1(34): 31-33.
4. Старовайтов В.И., Старовайтова О.А., Звягинцев П.С. и др. Топинамбур – культура многоцелевого использования. Пищевая промышленность. 2013; 4: 22-25.
5. Полякова Е.Д., Евдокимова О.В., Иванова Т.Н. Исследование ингредиентного состава обогатителя растительного пищевого диабетического назначения. АПК России. 2017; 5: 1234-1242.
6. Думанишева З.С., Вологирова Д.А. Влияние порошка из клубней топинамбура на качество хлебобулочных изделий. Актуальные проблемы технологии продуктов питания, туризма и торговли: материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик; 2021: 26-29.
7. Джабоева А.С., Лампежева Л.М., Пашкова Е.Ю. и др. Применение клубней топинамбура в диетическом питании. Национальные приоритеты и безопасность: материалы Международной научно-практической конференции. Нальчик; 2020: 415-419.
8. Шогенова А.А., Джабоева А.С. О возможности использования сока из клубней топинамбура в производстве продуктов питания лечебного назначения. Известия КБГАУ; 2019: 90-93.
9. Думанишева З.С., Малкарукова А.А. Использование порошка из топинамбура в производстве кулинарной продукции повышенной пищевой ценности. Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. 2021; 2(32): 69-73.
10. Бызов В.А. Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022; 23(6): 757-776.
11. Титова Л.М., Алексанян И.Ю. Технология инулина: основные тенденции развития отрасли и спорные вопросы. Пищевая промышленность. 2016; 1: 46-51.
12. Гулюк Н.К., Лукин Н.Д., Пучкова Т.С. и др. Об очистке экстракта из инулинсодержащего сырья. Пищевая промышленность. 2017; 2: 24-26.
13. Беев А.А., Вологиров А.К., Беева Д.А. и др. Природный полисахарид инулин из топинамбура. Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2014; 4(6): 38-41.

REFERENCES:

1. Sozaeva D.R., Zoloeva D.Z. Development of technology for innovative products for patients with diabetes. Current problems of food technology, tourism and trade: materials of the 1st All-Russian (national) scientific and practical conference. Nalchik; 2021: 76-80.
2. Belyaeva I.A. Jerusalem artichoke is a multi-purpose raw material. University science to the region: materials of the V annual scientific and practical conference. Stavropol; 2017: 29-31.
3. Zhuchkova M.A., Skripnikov S.G. Jerusalem artichoke is a plant of the 21st century. Vegetables of Russia. 2017; 1(34): 31-33.
4. Starovaitov V.I., Starovaitova O.A., Zvyachintsev P.S. et al. Jerusalem artichoke is a multi-purpose crop. Food industry. 2013; 4:22-25.
5. Polyakova E.D., Evdokimova O.V., Ivanova T.N. Study of the ingredient composition of a herbal food fortifier for diabetic purposes. Agroindustrial complex of Russia. 2017; 5: 1234-1242.
6. Dumanisheva Z.S., Vologirova D.A. The influence of powder from Jerusalem artichoke tubers on the quality of bakery products. Current problems of food technology, tourism and trade: materials of the II All-Russian (national) scientific and practical conference. Nalchik; 2021: 26-29.

7. Dzhaboeva A.S., Lampezheva L.M., Pashkova E.Yu. et al. The use of Jerusalem artichoke tubers in dietary nutrition. National priorities and security: materials of the International Scientific and Practical Conference. Nalchik; 2020: 415-419.
8. Shogenova A.A., Dzhaboeva A.S. On the possibility of using juice from Jerusalem artichoke tubers in the production of medicinal food products. News of KBGAU; 2019: 90-93.
9. Dumanisheva Z.S., Malkarukova A.A. Use of Jerusalem artichoke powder in the production of culinary products of high nutritional value. News of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University. 2021; 2(32): 69-73.
10. Byzov V.A. System analysis of the state and prospects for the development of inulin production (review). Agricultural science of the Euro-North-East. 2022; 23(6): 757-776.
11. Titova L.M., Aleksanyan I.Yu. Inulin technology: main trends in industry development and controversial issues. Food industry. 2016; 1: 46-51.
12. Gulyuk N.K., Lukin N.D., Puchkova T.S. et al. On the purification of extract from inulin-containing raw materials. Food industry. 2017; 2: 24-26.
13. Beev A.A., Vologirov A.K., Beeva D.A. et al. Natural polysaccharide inulin from Jerusalem artichoke. News of Kabardino-Balkarian State University. 2014; 4(6): 38-41.

Информация об авторах / Information about the authors

[**Арсиян Консевич Вологиров**], кандидат химических наук, доцент кафедры «Технология продуктов общественного питания и химия», ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский ГАУ им. В.М. Кокова»

Амина Сергеевна Джабоева, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технология продуктов общественного питания и химия», ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский ГАУ им. В.М. Кокова»

trop_kbr@mail.ru

Анна Тимофеевна Васюкова, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса», ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет»

vasyukova-at@yandex.ru

Зурет Нурбиевна Хатко, доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой технологии пищевых продуктов и организации питания, ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»

znkhatko@mail.ru

тел.: +7 (988) 477 12 19

Асет Ибрагимовна Блягоз, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии пищевых продуктов и организации питания, ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»

aset.blyagoz@mail.ru

тел.: +7 (918) 223 22 44

[**Arsiyani K. Vologirov**], PhD (Chemistry), Associate Professor, Department of Catering food technology and Chemistry, FSBEI HE «Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov»

Amina S. Dzhaboeva, Dr Sci., Professor, Head of the Department of Catering food technology and Chemistry, FSBEI HE «Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov»

trop_kbr@mail.ru

Anna T. Vasyukova, Dr Sci. (Engineering), Professor of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service, FSBEI HE «Russian Biotechnological University»

vasyukova-at@yandex.ru

Zuret N. Khatko, Dr Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Food Technology and Catering, FSBEI HE «Maikop State Technological University»

znkhatko@mail.ru

tel.: +7 (988) 477 12 19

Aset I. Blyagoz, PhD (Engineering), Associate professor, Department of Food Technology and Catering, FSBEI HE «Maikop State Technological University»

aset.blyagoz@mail.ru

tel.: +7 (918) 223 22 44

Заявленный вклад соавторов

Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Claimed contribution of co-authors:

All authors of the research were directly involved in the design, execution, and analysis of this research. All authors of this article have read and approved the final version submitted.

Поступила в редакцию 20.10.2023; поступила после рецензирования 23.11.2023; принята к публикации 24.11.2023

Received 20.10.2023; Revised 23.11.2023; Accepted 24.11.2023